Lane Medical Library

Aus der konservierenden Abteilung (Leiter: Professor Dr. Hauenstein) der Universitätszahnklinik München
Vorstand: Professor Dr. Kranz.

Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Spannung galvanischer Elemente in der Mundhöhle und ihre klinische Bedeutung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
in der Zahnheilkunde

verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Bayerischen Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von

Franz Julius Köhl
Zahnarzt in München

Bayerische Druckerei & Verlagsanstalt G. m. b. H., Müllerstr. 27

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154015_0092

Wenn wir unsere verschiedenen Fachzeitschriften durchblättern, so finden wir immer wieder Fälle aus der Praxis, einzelne Fragen und Antworten sowie längere Aufsätze über das Thema: „Elektrische Erscheinungen in der Mundhöhle und ihre Schädigungen."

Die Ursachen dieser Erscheinungen sollen von verschiedenen Metallfüllungen im selben Mund herrühren, wie z. B. Gold und Amalgam, Gold und Wipla usw., die zusammen mit dem Speichel ein Element bilden und dadurch die verschiedensten Erscheinungen hervorrufen.

Betrachtet man unter der Berücksichtigung verschiedener Metallfüllungen die Zähne der Patienten, die uns in der täglichen Praxis zu Gesicht kommen, so wird man überrascht sein, welch ein vielseitiges Bild man hier oft wahrnimmt. Es ist dies auch erklärlich, da aus sozialen wie technischen Gründen häufig verschiedene Arten von Metallen Verwendung finden, wiewohl gerade dadurch die Möglichkeit der Entstehung galvanischer Elemente in der Mundhöhle gegeben ist. Wenn diese „elektrischen Erscheinungen" auch nicht häufig sind, so hat sie sicher schon jeder erfahrene Praktiker dann und wann beobachten können.

Schmerzen bei Berührung zweier verschiedener Metalle, Metallgeschmack, Zungenbrennen, Speichelfluß, Kopfschmerzen, allgemeine Schwäche usw. sind die Symptome, mit denen sich diese „elektrischen Erscheinungen" äußern.

Der einfachste Weg, alle diese Unannehmlichkeiten, die die Verwendung verschiedener Metalle mit sich bringt, zu beseitigen, wäre der, nur ein Metall im selben Mund zu verarbeiten; dies läßt sich jedoch, wie oben erwähnt, nicht immer durchführen.

Zur Vermeidung dieser unangenehmen Erscheinungen ging man rein empirisch vor, d. h. auf Grund der Erfahrungen, die man z. T. bei der Verwendung verschiedener Metalle im gleichen Munde machte, schloß man mehrere Metalle von der Verwendung im selben Mund aus, brachte aber keine Vorschläge, welche Metalle man verwenden könnte. Deshalb soll das Thema meiner Aufgabe sein, auf Grund chemisch-physikalischer Untersuchungen, die so weit wie möglich den Mundverhältnissen angepaßt sind, solche Metallkombinationen herauszufinden, die wir ohne schädliche Folgen im Munde unserer Patienten verwenden können.

Versuche ähnlicher Art wurden von Treibich und Hopfengärtner ausgeführt; sie beschränken sich jedoch lediglich auf die

Fragen, die günstigste Dosierung der Amalgame bei gleichzeitiger Verwendung von Gold zu bestimmen, um dadurch schädliche Erscheinungen zu vermeiden. Auf diese Arbeiten soll jedoch an anderer Stelle noch ausführlicher eingegangen werden.

Bevor ich auf mein Thema näher eingehe, möchte ich erst die Grundbedingungen für das Zustandekommen eines galvanischen Elementes erörtern.

Das einfachste Element besteht aus zwei Elektrizitätsleitern (Metallen), die mit flüssigen Leitern (Salzlösungen, flüssigen Säuren und Basen) in Berührung gebracht werden.

Das am wenigsten komplizierte Element dieser Art besteht z. B. aus Zink als negativem und Kupfer als positivem Pol. Als Elektrolyt dient verdünnte H_2SO_4. Werden beide Metalle durch einen Leiter verbunden, dann haben wir ein geschlossenes Element, wobei der Strom im Schließungsstromkreis immer von der Anode zur Kathode fließt, also vom höheren zum niederen Potential, und im Element selbst von der Kathode zur Anode. Bei Stromfluß wird die negative Elektrode aufgelöst. Das Zink verbindet sich mit dem SO_4 des Elektrolyten zu Zn. SO_4, wobei Wasserstoff frei wird und sich an der Anode abscheidet, solange bis die Kathode vollkommen verbraucht ist.

Je größer nun die Unterschiede der einzelnen Potentiale sind, um so mehr Strom wird fließen, um so größer wird also die auftretende Energie sein. Was von dieser Energie nicht für die Ueberwindung des Leitungswiderstandes verbraucht wird, kann als freie Kraft ausgenutzt werden.

Es ergeben sich also als maßgebend für die Stromstärke folgende Faktoren:

1. die Art der Elektroden,
2. die Größe der Elektrodenoberfläche,
3. der Elektrolyt (Säure, basische und Salzlösungen),
4. der Widerstand
   a) innerer Widerstand = der Widerstand, der im Apparat entsteht, also zwischen den beiden Elektroden,
   b) äußerer Widerstand, der in der Leitung entsteht, die die aus dem Elektrolyt ragenden Enden verbindet.

Diese Faktoren stehen in folgendem Abhängigkeitsverhältnis:

$$\frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}} = \text{Stromstärke.}$$

Dieselben Verhältnisse können wir im Munde unserer Patienten mit verschiedenen Metallfüllungen haben. Die Metalle geben die Elektroden, der Speichel den Elektrolyten.

Also: Wir haben bei saurem Speichel mit Gold und Amalgam ein richtiges Element. Der saure Speichel ist der Elektrolyt, Gold die Anode und Amalgam mit seinem Zinn-, Silber- und Quecksilber-

gehalt die Kathode. Und zwar ist immer das der beiden Metalle Anode, das von den beiden in der Spannungsreihe an rechter Stelle steht. Gold und Amalgam haben verschiedene Potentiate, so daß eine Spannungsdifferenz auftreten muß.

Da Elektrolyse nicht an saure oder basische Reaktionen gebunden ist, sondern an die Anwesenheit von Ionen in dieser Lösung, so kann sich eine Potentialdifferenz auch in neutralem Speichel auswirken, wenn die anderen Bedingungen zum Zustandekommen eines Elementes gegeben sind.

Daß auch ein neutraler Speichel elektrolytisch wirksam ist, bestätigen die von Hopfengärtner mit Kochsalzlösung ausgeführten Versuche; ebenso konnten wir mit Kochsalzlösung als Elektrolyt galvanische Elemente herstellen.

Wir bekommen also bei neutralem Elektrolyt wie z. B. Kochsalzlösung, wenn wir eine Zink- und Kupferelektrode eintauchen und diese durch einen Schließungsdraht verbinden, ebenso einen Stromfluß wie mit saurem Speichel. Saurer, neutraler und alkalischer Speichel enthält einen bestimmten Prozentsatz an Kochsalz, worauf ich später noch näher eingehen werde. Aus der Chemie und Physik wissen wir, daß Säuren, Basen und Salze Leiter zweiter Klasse (Elektrolyte) sind, d. h. ihre Lösungen in Wasser leiten den Strom, wobei eine Zersetzung stattfindet. Die Elektrolyten haben immer zwei Bestandteile — einerseits Wasserstoff oder Metall, anderseits „Säurerest“ —; diese nehmen in wässeriger Lösung unabhängig voneinander an chemischen Reaktionen teil und werden als Ionen bezeichnet.

In verdünnter Schwefelsäure haben wir H_2- und SO_4-Ionen, in einer Kochsalzlösung Na′- und Cl′-Ionen. Da die beiden Lösungen aber Ionen enthalten, sind auch beide, also Schwefelsäure wie die neutrale Na. Cl.-Lösung, elektrolytisch wirksam.

Bei neutraler Speichelreaktion ist natürlich jederzeit die Möglichkeit gegeben, daß die Speichelreaktion durch starkes Ansäuern für kurze Zeit nach der sauren Seite hin umschlägt, so daß wir die oben erwähnten Verhältnisse wieder haben. Dies ist der Fall, wenn Patienten Speisen oder Flüssigkeiten zu sich nehmen, die selbst einen starken Säurewert besitzen, wie Salate, Gurken oder Obst. Ein anderer Punkt ist der Gärungsvorgang im Mund, bei dem durch zurückgebliebene Speisereste, besonders in den Interdentalräumen, durch die Tätigkeit verschiedener Mikroorganismen Milchsäure und Essigsäure entsteht. Durch diese Gärungsvorgänge wird die Wirksamkeit der Elektrolyten erhöht, wie die späteren Versuche noch zeigen werden. An dieser Stelle möchte ich gleich noch einiges über die Reizwirkung von Säuren und Alkalien auf den Speichel berichten, über die K. Gg. Jung in der Zahnärztlichen Rundschau Jahrg. 41 einen längeren Aufsatz bringt. Der Verfasser bestätigt zunächst auf Grund seiner Untersuchungen die Feststellung Becks,

daß der PH-Wert des Speichels im Laufe eines Tages ziemlich starken und unregelmäßigen Aenderungen unterworfen ist und die Kurve zwischen sauren und alkalischen Werten pendelt. Man weiß, daß der Speichel des Nüchternen sauer ist, daß also die PH-Kurve mit niederen Werten beginnt, dann allmählich steigt, sich tagsüber im Neutralpunkt hält und abends bzw. nachts wieder absinkt.

Jung prüfte die Reizwirkung verschiedener Säuren und Alkalien auf den Speichel. Er untersuchte die Speichelreaktion fünf Minuten nach Genuß eines Apfels und fand einen PH-Wert von 8,0, also alkalisch. Eine Viertelstunde später fand er eine PH-Konzentration von 6,9 (7,0 ist neutral), die dem Durchschnittswert dieser Tageszeit, etwa 16.00 Uhr, entspricht. Bei einem zweiten Versuch ließ die Versuchsperson etwa 0,3 g kristallisierte Zitronensäure im Mund zergehen. Nachdem alles aufgelöst war, wurde sofort der sezernierte Speichel ausgespuckt und seine PH-Konzentration gemessen. Das kurz vor dem Versuch gemessene PH des Speichels von 6,6 war auf 6,0 abgesunken. Schon nach fünf Minuten stieg es auf 7,7 und fiel nach weiteren zehn Minuten wieder auf 7,0, den Neutralpunkt.

Man sieht aus diesen Versuchen deutlich, daß auf einen sauren Reiz hin sofort mit der Produktion von alkalischem Speichel geantwortet wird, d. h. daß die Säure in kürzester Zeit neutralisiert wird.

Dies stimmt auch mit den Beobachtungen unserer Patienten überein. Die Patienten, die beispielsweise im Oberkiefer an einem Zahn mit lebender Pulpa eine Amalgamfüllung hatten, die sich beim Zubeißen im Unterkiefer mit einer Goldfüllung berührte, gaben an, daß die Schmerzen lediglich im Augenblicke der Aufnahme von stark sauren Speisen auftraten, jedoch bald nachher beim Zubeißen nicht mehr zu spüren waren.

Jung machte auch Versuche mit alkalischen Reizmitteln. Hierzu schreibt er:

„Bei der Einwirkung eines alkalisch reagierenden Reizstoffes läßt sich im Gegensatz zu dem Verhalten des Speichels auf saure Reize ein alkalischer Nachschub im Speichel nicht sicher nachweisen."

Bei sauren Reizen stellte sich das Ausgangs-PH zirka nach einer Viertelstunde wieder ein, bei alkalischen Reizmitteln aber erst nach ungefähr 90 Minuten.

Das vorübergehende Ansäuern des Speichels ist, wenn wir unsere Mahlzeiten daraufhin kritisch betrachten, doch nicht so selten wie man glaubt. Forscht man die Patienten einmal näher aus, die Amalgam und Gold im Mund tragen, so kann man öfter hören, daß sie beim Genuß von Essiggurken oder sonstigen scharf sauren Speisen jeden Kurzschluß des Elementes Amalgam-Gold

mit einem unangenehmen kleinen Schlag spüren, d. h. also, wenn Amalgam und Gold in Kontakt kamen.

Der dritte Fall sind Patienten mit ausgesprochen alkalischer Speichelreaktion. Trotzdem es im allgemeinen wenig gebräuchlich ist, kann man auch mit Laugen Elemente herstellen. So das Cupronelement:

15—18 %
Zn. / Na OH / Cu O.

Das Kupferoxyd wird hierbei zu Kupfer reduziert, aus dem Zink entsteht Natriumzinkat Na H Zn O_2.

Diese Elemente haben jedoch den Nachteil, daß sie zu unrentabel sind, weshalb sie in der technischen Praxis nicht verwendet werden und daher nicht bekannt sind.

Mehr als dies interessieren aber die Elemente mit alkalischem Speichel bei unseren Patienten. Ob die Spannungsdifferenzen unter diesen Bedingungen so stark sind, daß schmerzhafte Empfindungen ausgelöst werden, darüber soll an anderer Stelle berichtet und auch noch auf die anderen subjektiven Beschwerden eingegangen werden.

Vorher möchte ich einige Worte über die objektiven Merkmale verlieren. Hier sind an erster Stelle die Verfärbungen zu nennen.

Wir sahen Verfärbungen verschiedensten Grades zwischen Gold und Silberlegierungen, Gold und Amalgam, Gold und Randolf (Zusammensetzung 59,15% Cu, 39,43% Sn, 0,56% Pb, 0,07% Fe und Al), die ihre Ursache jedoch außer der Korrosion noch in manchen anderen Faktoren haben. Man kann wohl behaupten, daß der Grad der Verfärbungen stark von der Mundpflege abhängig ist, bei guter Mundpflege also geringer als bei schlechter Mundpflege ist, da hier schon durch die Gärung ungünstigere Verhältnisse geschaffen werden. Auch anormale Speichelzusammensetzung, Magenerkrankungen sowie der Gebrauch bestimmter Medikamente wie z. B. Quecksilber und Eisenpräparate spielen außer der direkten Korrosion ätiologisch eine Rolle. Diese letztgenannten Momente sind die Ursachen von Verfärbungen von Goldfüllungen (bei bester Mundpflege), wobei sich kein anderes Metall im Munde fand.

Starke Verfärbungen fanden sich auch bei großen Brückenarbeiten aus unechtem Metall wie Randolf, wobei noch Goldbrücken zugleich im Munde sind. Hier handelt es sich um ein reines galvanisches Element. In diesem Falle verfärben sich die Goldbrücken, da sie die Anode sind, die Randolfbrücke ist blank, da sie als Kathode aufgelöst wird.

Selbstverständlich spielt auch die Stärke der Potentialdifferenz eine Rolle. Es ist also, rein theoretisch gesprochen, die Verfärbung von Metallen stärker, die in der Spannungsreihe weit auseinanderstehen, als von solchen Metallen, die eng nebeneinander stehen.

Zur Orientierung bringe ich die Spannungsreihe mit den wichtigsten Metallen, wie sie allgemein in den physikalischen Lehrbüchern angeführt wird:

K, Na, Ba, Sr, Ca, Mg, Al, Zn, Cd, Fe, Ni, Sn, Pb,
(H), Cu, Bi, Sb, Hg, Ag, Pt Au.

Eine weitere Ursache außer der Korrosion durch verschiedene Metalle ist die Inhomogenität von Gußstücken (unsere Gußmetalle sind ja alle Legierungen), d. h. die einzelnen Kristalle sind durch zu rasche Abkühlung bei der Erstarrung nicht ins Gleichgewicht gekommen.

„Eine Hauptursache der Verfärbung von Goldarbeiten im Munde ist (wie die deutsche Gold- und Silberscheideanstalt schreibt) die Kombination verschiedener Legierungen in einem Stück bzw. unsauberes Löten, bei dem das Lot über eine größere Fläche verschmiert wird. Dabei bilden sich nämlich zwischen den verschieden karätigen Legierungen galvanische Elemente und es kann ein Niederschlag von Kupfer auf einzelnen Teilen des Stückes auftreten. Dieser Niederschlag wird durch Schwefelwasserstoff (aus Speiseresten) je nach seiner Dicke braun, bläulich oder schwarz gefärbt."

Chemisch bestehen diese Ablagerungen aus Schwefelverbindungen der in den Legierungen vorhandenen Metalle. Die Farbe der Niederschläge ist je nach der Dicke der Schicht braun, violett und schwarz. Durch Brechung des Lichtes an der Schwefelmetallschicht entstehen diese Farben.

Jeder Praktiker hat schon Goldkronen gesehen, die an dem Kontaktpunkt mit der Amalgamfüllung zerstört waren. Dies rechnet man ebenso zu den objektiven Erscheinungen, die durch Korrosionsströme hervorgerufen werden.

Chemisch ist der Vorgang nach den Untersuchungen, die die Deutsche Gold- und Silberscheideanstalt in ihren Laboratorien hat durchführen lassen, folgendermaßen:

„Die Korrosion des Amalgams greift den Zinn-Quecksilber-Mischkristall an, der aus 83% Sn und 17% Hg besteht. Bei der Korrosion löst sich das Zinn und wird als Zinnsalz mit dem Speichel weggeschwemmt und verschluckt, zum Teil mag es auch als Zinnoxyd in der Nähe der Korrosionsstelle abgesetzt werden. Das Quecksilber, das bei der Korrosion des Mischkristalls übrigbleibt, wird von der Amalgamfüllung aufgenommen und chemisch gebunden, vorausgesetzt daß

1. die Korrosion nicht zu schnell vor sich geht und
2. das Amalgam richtig, d. h. von vornherein nicht zu quecksilberreich verarbeitet wurde.

Ist nämlich das Amalgam schon mit Quecksilber gesättigt oder verläuft die Korrosion sehr schnell, so wird das Quecksilber in flüssigem Zustand abgeschieden; es amalgamiert die Goldkronen und

zerstört dieselben im Kontaktpunkt. Der durch die Gärungs- und Fäulnisprozesse auftretende H_2S bewirkt durch seine Verbindungen die Schwarzfärbung.

Ist eine Kupferamalgamfüllung in Kontakt mit der Goldkrone, so wird bei der Korrosion Kupfer gelöst und das Quecksilber sofort unter allen Umständen als flüssiges Quecksilber frei. Es ist nur eine Frage der Korrosionsgeschwindigkeit, wann genügend Quecksilber in Freiheit gesetzt ist, um die Goldkrone zu zerstören bzw. um den mikroskopisch feinen Spalt zwischen Amalgam und Gold zu überbrücken. Auch die zinnhaltigen Kupferamalgame verhalten sich nach genügend langer Korrosionsdauer nicht anders als die zinnfreien; ist das Zinn oberflächlich herausgelöst, so beginnt die Auflösung von Kupfer, die Bildung der Quecksilberschicht und damit die Gefahr für die berührende Goldarbeit."

Haben wir Gold und Randolf im selben Mund verarbeitet, so beruht die Verfärbung des Goldes auf der Anlagerung einer Schwefel-Kupferverbindung.

Die Formen, in denen sich der Strom oder auch die Potentialdifferenz bei unseren Patienten bemerkbar macht, sind ziemlich variabel. Hier sollen zunächst Beispiele der Literatur angeführt werden, da sich bei der ungeheuren Zahl unserer Klinikpatienten verhältnismäßig wenig Patienten mit solchen Erscheinungen fanden. Außerdem bestätigten diese Patienten nur die Angaben, die schon andere Autoren über dieses Kapitel gemacht haben. So berichtet Tholuck von einem interessanten Fall:

„Eine Patientin trug im Unterkiefer ein Ersatzstück, das mit einem Golddraht verstärkt war. Dieser Golddraht stand mit einer Amalgamfüllung am $\overline{3}$ in Kontakt. Nach dem Essen säuerte sich der Speichel von zurückgebliebenen Speiseresten so stark an, daß die Patientin ein Zucken spürte. Säuerte Tholuck bei dieser Patientin den Speichel mit 1% Milchsäure an und brachte Gold und Amalgam in Kontakt, so konnte er die Erscheinungen ohne weiteres hervorrufen. Nach Beseitigung der Ursache verschwanden die Symptome für immer."

Von anderen Erscheinungen berichtet Sikora:

„Sikora wurde von einer Patientin konsultiert, die schon seit Jahren Tag und Nacht anhaltende, unerträgliche Kopfschmerzen hatte. Sie trug 11 Goldamalgamfüllungen und 9 Brückenglieder mit einem Bügel im Mund. Gold, Goldamalgam und Speichel wirkten als Element."

Sikora schreibt dann: „Aus der Nervenphysiologie ist bekannt, daß der elektrische Strom erregend auf die Nerven wirkt und daß der Erfolg der Erregung von der Funktion des Erfolgorgans abhängig ist. Die Erregung von sensiblen Nerven mußte also zu Sinneswahrnehmungen, in diesem Falle zu Schmerzen, Kopfschmerzen führen."

Fälle von schweren Erscheinungsformen bringt Lippmann: „Eine 62 Jahre alte Patientin trägt im Oberkiefer eine Gold-, im Unterkiefer eine Kautschukprothese ohne Beschwerden. Die untere Prothese zerbricht, statt dessen wird eine 40 g schwere Prothese aus reinem Zinn angefertigt. Danach traten Kopfschmerzen, Zittern, allgemeine Schwäche, Appetitlosigkeit, Uebelkeit, Zungenbrennen und schwere Geschmacksstörungen auf und am Zungenrand blaue Pigmentflecken. Da eine Nierenreizung, eine vermutete Pyelitis, als Ursache für die Hinfälligkeit angenommen wurde, 4 Wochen Bettruhe. Verschwinden sämtlicher Symptome, da kein Ersatz getragen wurde. Beim späteren Tragen der Prothese stellten sich die Beschwerden wieder ein. Nachdem die Zinnprothese durch Kautschuk ersetzt wurde, verschwanden die Allgemeinbeschwerden sofort, die Geschmacksstörungen erst nach 1½ Jahren."

Sodann bringt Lippmann noch einen zweiten interessanten Fall: „Eine Patientin kommt wegen Uebelkeit, Appetitlosigkeit, Speichelfluß, Metallgeschmack, Zungenbrennen, allgemeiner Schwäche und Gewichtsabnahme in die Sprechstunde. Innere Organe ohne Befund. Im Mund: leicht geröteter Rachenring, stark gerötete hintere Rachenwand. Die Frau trägt im Oberkiefer eine Brücke, anscheinend aus Gold. Da sich die Beschwerden sehr steigern, wird die Brücke nach weiteren drei Wochen entfernt. Nach einigen Tagen Appetitzunahme, drei Wochen später völliges Wohlbefinden. Bei der Prüfung zeigte sich die Brücke aus Randolf. Eine später angefertigte Goldbrücke wird reaktionslos vertragen."

Saulson berichtet von einem Fall von Geschmackssensationen, Zungenkribbeln und dunkelbrauner bis schwärzlicher Verfärbung des Goldes bei gleichzeitiger Verwendung von Gold und Stahl bei saurem Speichel im Mund.

Schmitt schreibt, daß seine Ergebnisse bei gleichzeitiger Verwendung von Gold und Stahl uneinheitlich waren. Nur in drei Fällen beobachtete er leichte Verfärbungen.

Puttkammer gibt uns über die Erfahrungen mit Stahl und Kupferamalgam Aufschluß. Er hatte drei Patienten, die im Oberkiefer Platten aus Wipla trugen, im Unterkiefer 1 bis 3 Kupferamalgamfüllungen hatten. Schon nach drei- bis vierstündigem Tragen der Platte zeigten sich unerträgliche Reizungen der Schleimhaut. An den Prothesen zeigten sich durch Niederschlag von Kupfervitriol große braune Flächen. Nach Ersatz der Kupferamalgamfüllungen durch True Dental Alloy S S White traten die Verfärbungen an den neu gelegten Amalgamen auf."

Da Puttkammer nichts vom Verschwinden der Schleimhautreizungen erwähnt, nehme ich an, daß diese nicht mehr auftraten, sonst hätte er sicher eine der beiden Elektroden entfernt.

In diesem Falle handelt es sich nach meiner Ansicht nicht um braune Flächen von Cu-Vitriol, sondern um eine Schwefelwasser-

stoffverbindung (aus Speiseresten) des Cu, die in diesem Falle die Stahlprothese braun färbte.

Hahn stellte fest, als er nachträglich einen Saugeknopf einsetzte (die Scheibe des Saugeknopfes bestand aus Randolf, der Stift aus Neusilber, wobei beide Teile mit Ser Lot verlötet wurden), daß, sobald die Zunge den auf der Zungenseite vernieteten Stift berührte, ein unangenehmer metallischer Geschmack auftrat. Nach Ersatz des Knopfes durch Gold keine Symptome mehr. Ausdrücklich bemerkt der Verfasser, daß Amalgame nicht im Munde waren.

Wir sehen also, daß bei Verwendung von verschiedenen Metallen die verschiedenartigsten subjektiven wie objektiven Erscheinungen auftreten, die wir auf Spannungsdifferenzen zurückführen müssen. Sie äußern sich, noch einmal kurz zusammengefaßt, teils als Metall- oder säuerlicher Geschmack, teils als Brennen der Mundschleimhaut oder als intensiver Schmerz bei Berührung von zwei verschiedenen Metallen, in schweren Fällen jedoch als allgemeine Störungen wie Mattigkeit, Appetitlosigkeit, Kopfschmerzen, Gereiztheit, Uebelkeit usw.

Die Ursache des Metallgeschmackes ist das Aufgelöstwerden der negativen Elektrode, das sich am deutlichsten in dem Zink-Kupfer-Element mit verdünnter Schwefelsäure zeigt.

Objektiv wurden nur Verfärbungen festgestellt; besonders schnelle Auflösung des Materials lediglich bei Randolf und ähnlichen unechten Legierungen. Hierzu ist noch zu bemerken, daß diese Legierungen schon für sich allein korrodieren, da sie keine homogenen, sondern heterogene Legierungen sind. Daß beispielsweise der Randschluß bei verschiedenem Füllungsmaterial besonders schnell zerstört oder angegriffen würde, darüber konnten wir in der Literatur nichts finden und konnten auch bei den selbst untersuchten Patienten nichts feststellen. Das Auftreten von Sekundärkaries war bei diesen Gebissen nicht häufiger als bei anderen. Der Randschluß hängt also von der Kantenfestigkeit des verwendeten Metalles, seiner Mundbeständigkeit und richtiger Kavitätenpräparation ab. Beim Amalgam kommt noch als wichtiger Faktor die richtige Dosierung dazu. Maßgebend für guten Randschluß ist auch noch die Formbeständigkeit der Füllungsmaterialien an sich.

Zu diesen in der Literatur beschriebenen Fällen möchte ich noch über einige Fälle aus unserer Klinik berichten, da meiner Ansicht nach gerade diese Fälle in der täglichen Praxis die häufigsten und deshalb auch von größtem Interesse für den Praktiker sind.

Im ersten Falle handelt es sich um eine 30jährige Patientin. Diese trug am $\underline{8\ 7\ 6|}$ Amalgamfüllungen. Die Pulpen der Zähne lebten. Im Unterkiefer hatte die Patientin eine Goldbrücke, die vom $\overline{4|}$ zum $\overline{7|}$ ging. Sie gab an, daß sie jedesmal, sobald sie stark saure Speisen zu sich nehme, beim Zubeißen einen starken, stechenden Schmerz im rechten Oberkiefer spüre. Dieser Schmerz war auch

nach einem Vierteljahr noch nicht verschwunden. Es wurden nun die drei Amalgamfüllungen entfernt und diese durch Zementfüllungen ersetzt. Die Beschwerden beim Genuß von sauren Speisen traten seit der Entfernung der Amalgamfüllungen nicht mehr auf.

Im zweiten Fall war das Bild etwas anders. Ein 20jähriger Patient bekam in unserer Klinik am $\overline{|6}$ eine Silberamalgamfüllung gelegt. Der $\underline{|6}$ war mit Gold überkront. Beim Zusammenbeißen berührte die Goldkrone die Amalgamfüllung; bei jedem Zusammenbeißen spürte der Patient einen leichten, stechenden Schmerz. Als wir den Patienten nach 14 Tagen wieder bestellten, waren die Beschwerden wesentlich geringer und nach weiteren 14 Tagen waren sie vollkommen verschwunden. (Das Verschwinden des Schmerzes wird im weiteren Verlaufe der Arbeit noch erklärt.)

Sodann können wir von einem Fall berichten, wo eine Goldkrone beim Zubeißen mit einer Silberamalgamfüllung in Kontakt trat. Beim Auftreffen wurde ein schmerzhafter elektrischer Kontakt empfunden, der auf die Dauer unerträglich war. Auch starker, metallischer Geschmack wurde wahrgenommen. Da diese Beschwerden schon seit Monaten bestanden und sich kein Abklingen zeigte, wurde die Amalgamfüllung durch eine Goldgußfüllung ersetzt, womit auch sofort sämtliche Erscheinungen verschwanden.

In einem anderen Falle war im Unterkiefer eine Goldkrone, im Oberkiefer wurde eine große zentrale Amalgamfüllung gelegt. Schon beim ersten Zubeißen wurde ein intensiver, stechender Schmerz empfunden. Der Schmerz beim Zubeißen wurde jedoch schon am nächsten Tag wesentlich geringer und war bereits nach fünf Tagen vollständig verschwunden.

Von allen diesen subjektiven und objektiven Erscheinungen, die durch Spannungsdifferenzen, d. h. hier durch verschiedene Metallfüllungen, hervorgerufen werden, interessieren uns die subjektiven Beschwerden, und zwar die durch Berührung zweier verschiedener Metalle entstandene Schmerzempfindung am meisten, da diese in der Praxis nach unseren Beobachtungen am häufigsten vorkommt.

Bevor ich zu meinen Messungen von Spannungen übergehe, sollen kurz die Arbeiten anderer Autoren auf diesem Gebiete Erwähnung finden.

Lippmann untersuchte das Verhalten von Zinn-Gold, von Messing-Gold, Zinn-Messing und Zinn-Silber im Elektrolyten, dessen PH-Konzentration der des Speichels entsprach. Er fand Spannungen von etwa ¼ Volt. Da Zinn heute in der Zahnheilkunde kaum mehr verwandt wird, dürften diese Versuche keine große Bedeutung haben. Wie die Untersuchungen technisch vorgenommen wurden, ist nicht beschrieben.

Hopfengärtner bestimmte die Potentialdifferenzen von Gold-Amalgam unter Berücksichtigung der verschiedenen Zusammen-

setzung der Amalgame. Er machte seine Untersuchungen, um die günstigste Dosierung der Amalgame in dieser Beziehung zu finden.

Die Messungen der Potentialdifferenzen wurden von Hopfengärtner nach der Poggendorff'schen Kompensationsmethode ausgeführt. Für seine Messungen benützte er ein Potentiometer, das auf Millivolt geeicht war. Hopfengärtner brachte seine Elektroden in ein kleines Versuchsgefäß, wobei der Elektrodenabstand 5 cm betrug. Als Elektrolyt benützte er 0,25% Na Cl und ein Gemisch von je 0,25% Na Cl und Milchsäure. Hopfengärtner schreibt, daß er innerhalb der ersten 10 Minuten der Messung eine Schwankung von 0,45 Volt auf 0,52 Volt beobachtete. Nach Ablauf dieser 10 Minuten wurde keine Messung mehr vorgenommen.

Schwankungen des Potentials beobachteten wir ebenso bei unseren Versuchen. Es wurden deshalb bis zu jeder Messung 10′ gewartet, damit sich das Potential richtig einstellen konnte. Nach diesen 10′ konnten wir dann bei genauer Messung keine Schwankungen des Potentials mehr feststellen.

Treibich untersuchte das Verhalten von Amalgam zu Gold unter Berücksichtigung der verschiedenen Zusammensetzung der Amalgame.

Die Messungen wurden in drei verschiedenen Elektrolyten vorgenommen. 1. H_2O + Na Cl, 2. Acid. lact. 1% und 3. 0,4% Na O H. Als Meßinstrumente wurden ein Millivoltmeter und ein Milliamperemeter verwandt. Weitere versuchstechnische Einzelheiten wurden nicht erwähnt.

Aus seinen Versuchen schließt Treibich: Gold wird von den Amalgamen nur bei direkter Berührung beeinflußt, sonst spielt die Elektrolyse bei normalen Mundverhältnissen keine Rolle.

Wie ersichtlich, wurden Messungen von Potentialen von Lippmann, Hopfengärtner und Treibich ausgeführt. Lippmann schloß auf Grund seiner Erfahrungen und Messungen Gold und Zinn von der Verwendung aus. Hopfengärtner und Treibich untersuchten Gold und Amalgam, um die günstigste Dosierung des Amalgams bei Verwendung mit Gold festzustellen.

Zur Klärung der Frage der subjektiven Erscheinungen möchte ich zunächst versuchen, die Größe der Spannungsdifferenzen zwischen den gebräuchlichsten Füllungsmetallen zu messen.

Genaue Werte für den Mund des Patienten kann man hier niemals angeben, da die Mundverhältnisse viel zu wechselnd sind und die Messung aus technischen Gründen intraoral nicht durchzuführen ist und sich vor allem keine Vergleichswerte zwischen den einzelnen Metallen ergeben, die ja für diese Arbeit unbedingt erforderlich sind.

Wie die Stromstärke, hängt die Spannung von verschiedenen Faktoren ab:

1. der Art der Elektroden,
   d. h. die Spannungsdifferenz ist um so stärker, je weiter die Metalle in der Spannungsreihe auseinanderstehen;
2. vom Elektrolyten,
   die Spannung ist um so stärker, je größer die Lösungskonzentration des Elektrolyten, d. h. des Speichels, ist;
3. vom Widerstand.
   Hier kommt der Widerstand zwischen den beiden Elektroden in Frage; maßgebend für die Größe des Widerstandes ist die Entfernung der Elektroden. Im Munde fällt teilweise äußerer und innerer Widerstand weg, da die Elektroden zum Teil direkt kurzgeschlossen sind.

Als Elektroden für meine Versuche verwendete ich Metallstücke von 9×20 mm (die Größe der Elektrodenoberfläche spielt bei dieser Versuchsmethode keine Rolle und wurde wegen der Größe der Elektrodengefäße nach diesen Maßen gewählt) aus den in der Zahnheilkunde gebräuchlichsten Metallen wie Gold, Amalgam, Wipla, Degussa-Silberlegierung 835 und das Würzburger Weißgußmetall. Der Vollständigkeit halber wurde auch noch das Verhalten von Randolf untersucht, da dies in der Praxis doch teilweise aus sozialen Rücksichten noch verwandt wird.

Die Frage der Elektrolyten ist nicht so ohne weiteres gelöst. Der Mundspeichel reagiert, wie schon erwähnt, in den allermeisten Fällen neutral oder schwach alkalisch, der des Nüchternen sauer. Die Stärke der Alkaleszenz schwankt aber nicht nur bei den verschiedenen Patienten mehr oder weniger durch Einwirkung verschiedener Reize, sondern die Speichelreaktion ist auch bei ein und demselben Patienten während verschiedener Tageszeiten verschieden. Nur bei ungepflegten Mundverhältnissen und bei entzündlichen Prozessen in der Mundhöhle reagiert der Speichel sauer. Bei Gärungsvorgängen, die immer bei schlechter Mundpflege stattfinden, entsteht durch die Zersetzung von Kohlehydraten Milchsäure, die einer der elektrolytisch wirksamsten Faktoren des sauren Speichels ist. Deshalb wurde auch, wie später noch erwähnt, der 0,25% Na-Cl-Lösung 0,25% Milchsäure zugesetzt.

Nun wissen wir, daß auch mit alkalischem und neutralem Speichel eine elektrolytische Wirkung zu erzielen ist und man hat durch Versuche festgestellt, daß das elektrolytisch wirksamste Agens des Speichels zum großen Teil Na Cl ist.

Knoche untersuchte den Kochsalzgehalt des Speichels und fand 0,16—0,25%; Wannenmacher: 0,11—0,40%. In Anlehnung an Versuche von Hopfengärtner möchte ich für meine Versuchszwecke ebenfalls

1. 0,25% Kochsalzlösung (Reaktion neutral PH 7,0 p - - Nitrophenalreihe) und
2. Kochsalz-Milchsäurelösung je 0,25% (abgekürzt 0,25% MK) verwenden.

Der Milchsäurezusatz von 0,25% ist so gewählt, daß die elektrolytische Wirksamkeit möglichst der des Mundspeichels entspricht.

Da elektrische Erscheinungen durch verschiedene Metallfüllungen (als subjektive Erscheinungen hauptsächlich Schmerzempfindung durch Berührung zweier verschiedener Metalle) häufig bei Genuß von stark sauren Speisen oder Getränken entstehen, machte ich noch Versuche mit reinem Zitronen- und Essiggurkensaft, um mir gerade von diesen extremen Fällen ein Bild der auftretenden Potentialdifferenzen zu machen.

Die Verwendung des künstlichen Elektrolyten brachte unbedingt gegenüber den Mundverhältnissen einige kleine Fehlerquellen mit sich, die jedoch, da das Na Cl die elektrolytische Wirksamkeit bedingt, vernachlässigt werden dürfen.

Wollte man mit natürlichem Speichel arbeiten, so müßte man für jede Versuchsreihe Speichel von ganz derselben PH-Konzentration haben, was bei der wechselnden PH-Konzentration des Speichels und der großen Anzahl der Messungen aber nicht möglich ist.

Sodann sind schon die Mengen, die für einen Versuch notwendig sind, zu groß und nicht aufzutreiben. Auch ist der Speichel über mehrere Tage nicht unverändert haltbar, wodurch vergleichende Versuche von vornherein wegfallen müßten.

Diese Fehlerquellen können wir auch aus dem Grunde vernachlässigen, da die Fehler mit den künstlichen Elektrolyten immer dieselben sind, also bei jedem Versuch auftreten und deshalb gerade bei den Vergleichsergebnissen zwischen den Potentialdifferenzen sich wieder ausgleichen.

Die schwankende Temperatur der Mundhöhle blieb unberücksichtigt, spielt auch bei Messung der Potentiale keine Rolle.

Aus diesen Gründen wählte ich folgende

Versuchsanordnung:

Ueber die Versuchsanordnung möchte ich hier nur das Wesentlichste und Prinzipiellste erwähnen, da die Bestimmung der Potentialdifferenzen eine rein chemisch-physikalische Angelegenheit ist.

Zur Bestimmung der Potentialdifferenzen können zwei Wege eingeschlagen werden:

1. eine direkte Meßmethode;
   dabei werden die Elektroden in einen Elektrolyten getaucht und die beiden Pole (nämlich die Metalle) durch einen Draht mit dem Millivoltmeter verbunden. Bei dieser Art der Messung kann man die Potentialdifferenz direkt auf dem Millivoltmeter ablesen;
2. eine indirekte Meßmethode nach Poggendorff.
   Diese hat den Vorzug gegenüber der ersten Methode, daß man mit dieser Arbeitsweise die Einzelpotentiale der Metalle genau

experimentell bestimmt und dann leicht rechnerisch die Potentialdifferenzen zwischen den gewünschten Metallen festlegt. Dadurch wird die Messung der Potentialdifferenz sämtlicher Metallkombinationen hinfällig.

Bei dieser Versuchsanordnung wird der zu messenden elektromotorischen Kraft der Kette K (unter Kette versteht man das zu untersuchende Metall in dem gewünschten Elektrolyt + eine $\frac{\text{normal}}{10}$ Kalomelelektrode, die durch einen $\frac{n}{10}$ K Cl Zwischenelektrolyten verbunden sind) eine gleich große EMK entgegengeschaltet, so daß dieses Element am Arbeiten verhindert wird.

Die Meßanordnung ist aus der Abbildung und dem beigefügten Schaltungsschema ersichtlich.

Die Abbildung kann im Original eingesehen werden.

A = Akkumulator
b-d = Meßbrücke
K = Kette
N = Nullinstrument, Kapillarelektrometer
Z = Zwischenelektrolyt; dieser hat den Zweck, das Lösungspotential der beiden verschiedenen Elektrolyten auszuschalten.
NE = Normalelement:
Spannung = 1,0183 Volt
L = Lupe
GK = Gleitkontakt.

Die Kette K besteht aus zwei Halbelementen. Das eine Halbelement ist die $\frac{n}{10}$ Kalomelelektrode, das andere Halbelement ist je nach Art des Metalles verschieden.

Wir stellten das eine Halbelement folgendermaßen her: Man preßt eine Amalgamplatte von etwa 1 mm Stärke und der Größe von 9 × 20 mm. Nachdem sie erhärtet und auf Hochglanz poliert war, wird die Platte an einem Kupferdraht befestigt, der durch einen Gummistopfen geführt wird. Nun verschließen wir das Gefäß luftdicht mit dem Gummistopfen, in dessen Bohrung die Elektrode steckt. Sodann wird über den seitlichen Ansatz des Elektrodengefäßes ein dicht schließendes Stückchen Gummischlauch gezogen, der mit einem Quetschhahn luftdicht verschlossen werden kann. Daraufhin taucht man den Schnabel des Gefäßes in ein Becherglas, das den betreffenden Elektrolyten enthält und saugt so viel Elektrolyt an, daß die Elektrode etwa zu drei Viertel in den Elektrolyt taucht. Sodann wird der Schlauch mit dem Quetschhahn luftdicht verschlossen.

Hierauf werden beide Halbelemente mit den Schnäbeln in den Zwischenelektrolyt getaucht (man achte darauf, daß in den Schnäbeln keine Luftblasen sind).

Jeder Messung eines Einzelpotentiales geht zuerst die Eichung des Akkumulators voraus.

Zu diesem Zweck schaltet man der bei bc abgezweigten Spannung E, die Spannung liefert der Akkumulator A, das Normalelement NE mit der Spannung 1,0183 entgegen, indem man bei b den + Pol des Normalelementes mit dem + Pol des Akkumulators verbindet und verschiebt den Gleitkontakt auf der Brücke b-d, auf der man beliebig große Spannungen abgreifen kann, solange, bis im Nebenstromkreis b, NE c kein Strom mehr fließt und der untere Meniskus der Quecksilbersäule im Kapillarelektrometer, den man durch die Lupe beobachtet, keine Bewegung mehr zeigt, d. h. in der Nullstellung verbleibt. Das Kapillarelektrometer muß nach jedem Stromdurchgang kurzgeschlossen werden, damit die Quecksilbersäule wieder in ihre Anfangsstellung zurückkehrt. Die EMK des Akkumulators ist dann:

$$\frac{\text{Spannung des Normalelementes} \times \text{bd}}{\text{bc.}}$$

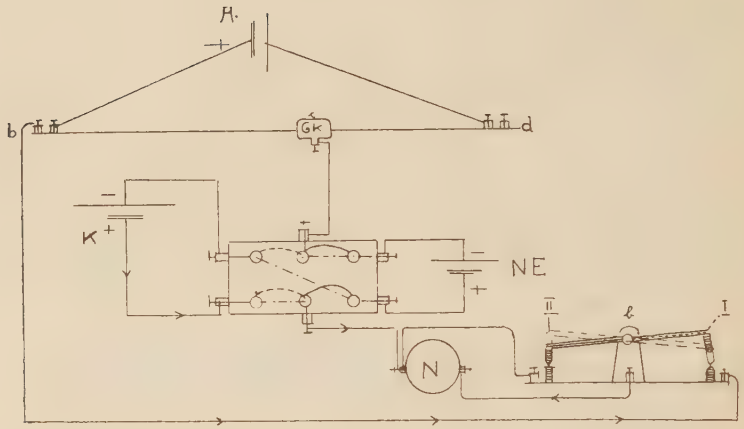
Zur Messung der EMK der Kette schaltet man wieder der bei bc abgezweigten Spannung E' die Kette mit der elektromotorischen Kraft E entgegen, und zwar bei b den + Pol des Akkumulators gegen den + Pol der Kette. Zur Messung der EMK der Kette darf im Nebenstromkreis b K NC kein Strom fließen, was sich wieder mit Hilfe des Nullinstrumentes feststellen läßt. Durch Verschiebung des Gleitkontaktes c auf der Meßbrücke bd läßt sich dies ja leicht erreichen. Die Stellung des Elektrometertasters und der Wippe ist aus dem Schaltschema ja ersichtlich.

Die EMK der Kette errechnet sich:

$$\frac{\text{EMK des Akku} \times \text{bd.}}{\text{bc (bei Eichung des Akku).}} \cdot \frac{\text{bc (bei Messung der Kette)}}{\text{bd}}$$

Die Messung des Potentiales jeder Elektrode ist erst vorzunehmen, nachdem diese schon 10 Minuten in den Elektrolyten eingetaucht war, da sich nach dieser Zeit das Potential erst richtig einstellt. Mißt man nämlich das Potential gleich nach dem Eintauchen, dann je nach den ersten zwei Minuten, so zeigt sich, daß das Potential noch ziemlich schwankt. Um Fehler zu vermeiden, wurden alle Messungen nach einer halben Stunde oder auch nach Tagen unter denselben Bedingungen (dieselbe Politur, frischer Elektrolyt) wiederholt und zeigten dasselbe Potential.

Schaltungsschema.



⌒ = Stellung der Wippe bei Eichung des Akkumulators.

⌒ = Stellung bei Messung der EMK der Kette.

⌒ = Stellung bei Messung der EMK der Kette mit Zusatz des NE.

I = Stellung des Elektrometertasters bei Kurzschluß des Kapillarelektrometers. (Das Kapillarelektrometer muß nach jedem Gebrauch kurzgeschlossen werden, damit sich die entstandenen Konzentrationsunterschiede über dem Hg im Schenkel B und über dem Meniskus in der Kapillare Ka ausgleichen können.)

II = Stellung des Elektrometertasters bei Eichung des Akkumulators und Messung der EMK der Kette.

Zum besseren Verständnis führe ich hier ein Beispiel an:

1. Messung mit 0,25% Na Cl und Silberamalgam.

Art der Kette		Eichung des Akkumulators	
Silberamalgam 0,25 % Na Cl	$\frac{n}{10}$ K Cl Hg Cl Hg	Einstell. 50,6	$EMK = \frac{1,0183 \times 100}{50,6}$

Kette

Einstell. 24,1 | $EMK = \frac{1,0183 \times 100 \times 24,1}{50,6 \times 100} = 0,485$ Volt

Einzelpotential des Silberamalgams:
0,341—0,485 = — 0,144 Volt.

Schaltung:

— 0,144 Volt | S-Amalgam 0,25% Na Cl | $\frac{n}{10}$ K Cl, Hg Cl, Hg | + 0,341 Volt

2. Messung mit 0,25% Na Cl und 20 Kar. Goldblech.

Art der Kette		Eichung des Akkumulators	
20 Kar. Goldblech 0,25% Na Cl	$\frac{n}{10}$ K Cl Hg Cl Hg	Einstell. 51,2	$EMK = \frac{1,0183 \times 100}{51,2}$

Kette mit Zusatz des Normalelementes

Einstell. 52,6 | EMK $\frac{1,0183 \times 100 \times 52,6}{51,2 \times 100} = 1,04614$

Fällt die Einstellung des Gleitkontaktes c auf der Meßbrücke b d unter 20 cm, so wird die Einstellung der Nullstellung zu ungenau. Man schaltet deshalb das Normalelement zur Kette dazu, indem man den — Pol der Kette mit dem + Pol des Normalelementes verbindet. Die EMK der Kette ergibt sich dann durch Subtraktion der EMK des Normalelementes.

EMK der Kette = 1,04614 — 1,0183 = 0,02784 Volt.
Einzelpotential der Goldelektrode:
0,341 — (— 0,02784) = + 0,36884 Volt.

Erhält man auf der Meßbrücke bd bei Verschiebung des Gleitkontaktes c keine Nullstellung im Kapillarelektrometer, so ist dies ein Zeichen dafür, daß die Spannung E′ nicht der Spannung E entgegengeschaltet ist, sondern daß die Spannungen hintereinander geschaltet sind, d. h. daß der + Pol der abgezweigten Spannung des Akkumulators A mit dem — Pol der Kette K verbunden ist. Um die Nullstellung zu erreichen, müssen die beiden + Pole miteinander verbunden werden. Die Berechnung des Einzelpotentiales geschieht in derselben Weise wie sonst, nur daß dem Gesamtpotential das — Vorzeichen gegeben wird.

Aus den beigefügten Tabellen I und III sind die Einzelpotentiale der verschiedenen Metalle in den oben erwähnten Elektrolyten ersichtlich. Tabelle II und IV zeigen die gefundenen Potentialdifferenzen zwischen Gold und verschiedenen anderen Metallen. Wir sehen, daß die maximalste Spannung von 0.66 Volt zwischen Gold und Silberamalgam in Zitronensaft erreicht wird.

Unser Gedankengang ist nun folgender: Wenn die Schmerzempfindungen, die die Patienten beschreiben, tatsächlich durch Spannungsdifferenzen hervorgerufen werden, so müßten die Schmerzempfindungen auch durch extraorale Potentialdifferenzen wieder zu erzeugen sein; es muß also möglich sein, die subjektiven Erscheinungen durch Reizung der Zähne mit Strom von der gefundenen Spannung im Mund des Patienten zu erzeugen.

Unsere Versuchsanordnung war nun folgende:

Ein Akkumulator mit der Spannung von 2 Volt sei die Kraftquelle. Parallel dazu schalteten wir ein Potentiometer und diesem parallel ein Voltmeter. Durch Zwischenschaltung des Potentiometers kann man beliebig große Spannungen zwischen 0 und 2 Volt erzeugen.

Tabelle I.

A. Einzelpotentiale der Metalle:

Metall	Anzahl der Volt in 0,25% Na Cl	Anzahl der Volt in 0,25% MK
Silberamalgam	— 0,144	— 0,160
20karät. Gold	+ 0,368	+ 0,370
Würzburger Weißmetall	— 0,137	— 0,211
Randolf	+ 0,095	+ 0,178
Wipla	+ 0,270	+ 0,301
Degussa-Silberlegierung	+ 0,289	+ 0,322
Gold-Platin-Amalgam	— 0,106	— 0,142

MK = 0,25% Milchsäure-Kochsalzlösung zu gleichen Teilen.

Tabelle II.

B. Potentialdifferenzen:

Metall	Potentialdiff. in 0,25% Na Cl	Potentialdiff. in 0,25% MK
Silberamalgam › Würzburger Weißmetall	0,007 Volt	0,051 Volt
Gold : Silberamalgam	0,512 „	0,530 „
Gold : Würzburger Weißmetall	0,505 „	0,581 „
Gold : Randolf	0,273 „	0,192 „
Gold : Wipla	0,098 „	0,069 „
Gold : Degussa-Silberlegierung	0,079 „	0,048 „
Gold : Gold-Platin-Amalgam	0,474 „	0,512 „
Randolf : Silberamalgam	0,239 „	0,338 „
Randolf : Würzb. Weißmetall	0,232 „	0,389 „
Randolf : Wipla	0,175 „	0,123 „
Randolf : Degussa-Silberleg.	0,194 „	0,144 „
Randolf : Gold-Platin-Amalgam	0,201 „	0,320 „
Wipla : Silberamalgam	0,414 „	0,461 „
Wipla : Würzb. Weißmetall	0,407 „	0,512 „
Wipla : Degussa-Silberleg.	0,019 „	0,021 „
Degussa-Silberleg. : Silberamalg.	0,433 „	0,482 „
Degussa-Silberleg. : Goldamalg.	0,395 „	0,464 „
Degussa-Silberleg. : Würzburger Weißmetall	0,426 „	0,533 „

Tabelle III.

C. Einzelpotentiate der Metalle:

Metall	Anzahl d. Volt in rein. Zitronensaft	Anzahl d. Volt in Essiggurkensaft
Silberamalgam	— 0,299 Volt	— 0,216 Volt
Gold-Platin-Amalgam	— 0,238 „	— 0,210 „
Wipla	+ 0,337 „	+ 0,336 „
20karät. Goldblech	+ 0,362 „	+ 0,400 „

Tabelle IV.

D. Potentialdifferenzen:

Metall	Potentialdiff. in rein. Zitronensaft	Potentialdiff. in Essiggurkensaft
Gold : Silberamalgam	0,661 Volt	0,616 Volt
Gold : Gold-Platin-Amalgam	0,600 „	0,540 „
Gold : Wipla	0,025 „	0,064 „

Da die Patienten, die diese Erscheinungen berichten, immer angaben, daß im Moment des Zusammenbeißens der Schmerz auftrat, wurde dies nachgeahmt. Im Moment des Zusammenbeißens werden nämlich die beiden Füllungen kurz geschlossen. Wir müssen also für diesen Fall lediglich die beiden Pole unseres Akkumulators kurz-

schließen. Man legt nun den einen Pol des Akkumulators bukkal oder lingual an das Zahnfleisch nächst dem zu untersuchenden Zahn; den anderen Pol legen wir auf eine Amalgamfüllung des betreffenden Zahnes.

Bei Voruntersuchungen zeigte sich, daß Zähne mit Gußfüllungen auf eine Spannung von 1 Volt nicht reagierten, was sich leicht mit der Unterfüllung erklären läßt, die in jeder Beziehung als Nichtleiter oder Isolierschicht wirkt. Ferner ergab sich, daß Zähne ohne Füllung überhaupt nicht reagierten, wenn die eine Elektrode statt auf eine Füllung auf den Schmelz gelegt wurde. Ebenso mußten wir feststellen, daß, sobald die eine Elektrode am Zahnfleisch, die andere in einer Kavität lag, ebenfalls keine Reaktion beim Kurzschluß ausgelöst wurde. Legte man in diese Kavität eine Amalgamfüllung (die Füllung konnte man, da sie noch weich war, nach dem Versuch ja wieder rasch entfernen) und fängt an mit Spannungen von 0,1 Volt zu reizen und steigert diese schrittweise um 0,1 Volt, so gab der Patient an, daß er ganz deutlich bei 0,4 Volt die erste Reaktion verspürte, die sich dann bis 0,66 Volt entsprechend verstärkte. Diese Beobachtung bestätigte eine Reihe von Patienten.

Um die Sache selbst einmal zu prüfen, ließ ich mir in einen exkavierten Zahn eine Amalgamfüllung legen und ließ kurz schließen, beginnend mit 0,1 Volt bis 0,7 Volt. Bei 0,4 Volt verspürte ich die erste Reaktion in Form eines kleinen Stiches, bei Steigerung der Spannung prägte sich das Gefühl des elektrischen Schlages, das ja jedem bekannt ist, immer mehr aus. Diese Reaktion bemerkte ich nur im Augenblick des Kurzschließens. Bei Bestehen des Kurzschlusses war selbst bei einer höheren Spannung bis 1 und 2 Volt nichts zu spüren.

Hieraus kann man wohl die Folgerung ziehen, daß die Ursache der Reaktion die Entladungserscheinung ist, die sofort bei Kurzschluß auftritt.

Wie bei jeder Schmerzempfindung, so stellten sich auch hier individuelle Schwankungen heraus. Ein Teil der Patienten reagierte schon bei 0,4 Volt, ein anderer erst bei 0,6 Volt, die bei dem einen Teil schon sehr unangenehme Empfindungen hervorgerufen hatten. Ich mußte sogar beobachten, daß ein Teil erst auf Spannungen von 1 und 2 Volt eine Reaktion spürte.

Reizte ich den betreffenden Zahn oder besser gesagt seine Pulpa (pulpentote Zähne reagieren selbstverständlich nicht) längere Zeit, d. h. erzeugte ich 10—20mal hintereinander Kurzschluß, so wirkten Spannungen von 0,4—0,6 Volt allmählich schwächer, um endlich überhaupt nicht mehr empfunden zu werden; über 0,6 Volt wurde auch bei öfterem Kurzschluß der Schmerz mit unverminderter Stärke wahrgenommen.

Bei anderen Patienten verschwanden auch die Erscheinungen von 0,7—1,0 Volt vollständig.

Nünlist, der mit Induktionsstrom Vitalitätsprüfungen machte, stellte bei einem Teil seiner Patienten dasselbe fest. Er schreibt dazu: „Alle Zähne scheinen sich während der Untersuchung an den Reiz zu gewöhnen, d. h. es ist immer ein stärkerer Strom notwendig, um denselben Reiz hervorzurufen."

Aus diesen Versuchen darf geschlossen werden, daß kleine elektrische Schläge tatsächlich durch Potentialdifferenzen verschiedener Metalle hervorgerufen werden können, wie wir sie praktisch in der Mundhöhle unserer Patienten täglich finden und die sich noch durch den Genuß von stark sauren Speisen bis auf ein Maximum von ungefähr 0,66 Volt steigern.

Als Reizschwelle der Pulpe nehme ich auf Grund meiner Versuche 0,4 Volt an. Unter 0,4 Volt konnten wir auch bei den sensibelsten Patienten, die 0,4 Volt deutlich als Stich empfanden, keinerlei wahrnehmbare Reaktion erzeugen.

Aus diesen Versuchen kann man aber noch weitere Schlüsse ziehen. Wirft man die Frage auf, warum in einigen Fällen die durch Berührung zweier verschiedener Metalle im Elektrolyten (d. h. Speichel) entstandenen Beschwerden verschwinden, so ist zur Klärung der Frage folgendes anzuführen:

1. Die Reizversuche haben gezeigt, daß die Pulpa eines Zahnes auf kleine Reize wie z. B. Spannungen 0,4—0,6 Volt so reagiert, daß die Schmerzen bei öfterem Kurzschluß nicht mehr empfunden werden oder schon die Rezeptoren den Reiz nicht mehr weiterleiten; wir müssen also die Spannung steigern, um denselben Reizeffekt zu erzeugen.

2. Frisch angerührtes Amalgam zeigt bei sofortiger Messung im 0,25% Kochsalzelektrolyten ein Einzelpotentiat von — 0,222 Volt.

Richtig erhärtetes Amalgam, gemessen 10 Tage nach dem Anrühren, zeigt ein Einzelpotentiat von — 0,144 Volt. Daraus ergeben sich natürlich bei Kombination mit Gold verschieden große Spannungsdifferenzen.

Die Potentialdifferenz für frisch angerührtes Silberamalgam zu Gold in 0,25% Na Cl Elektrolyten beträgt 0,59 Volt, bei richtig erhärtetem Amalgam 0,51 Volt. (Mißt man das frisch angerührte Amalgam nach Ablauf von je einer Stunde, so sieht man deutlich, daß das Potentiat im Abnehmen ist.) Die Reizversuche zeigten, daß $^1/_{10}$ Volt mehr oder weniger auch eine fühlbar stärkere oder schwächere Reaktion erzeugte.

3. Es ist eine alte Erfahrungstatsache, daß Gold im Kontakt mit Amalgam amalgamiert wird. Wie der chemische Vorgang läuft, habe ich schon einmal erwähnt. Hopfengärtner sagt auf Grund seiner Versuche hierzu folgendes:

„Amalgamiertes Gold wirkt als Elektrode zur Amalgamelektrode ungleich schwächer als gewöhnliches Gold und nimmt bei

sehr starker Amalgamierung annähernd das Potentiat des Quecksilbers an."

Tabelle nach Hopfengärtner:

	Potentiometer
Amalgam zu Gold rein	0,540 Volt
„ „ „ schwach amalgamiert	0,12 —0,05 „
„ „ „ stark amalgamiert	0,045—0,03 „

0,54 Volt werden von den Patienten schon sehr deutlich wahrgenommen, während 0,12 Volt und 0,04 Volt schon längst keine stärkeren Reaktionen hervorrufen.

Dies sind die drei Punkte, die zum Teil jeder allein, zum Teil kombiniert das Verschwinden der Schmerzen bei Berührung von Gold und Amalgam hervorrufen.

Ist man über diese drei Punkte nicht orientiert, so könnte man fragen, ob bei diesen Fällen, bei denen der Schmerz verschwindet, nicht die Oxydation die entscheidende Rolle spielt. Meine auch nach dieser Richtung ausgeführten Versuche haben jedoch ergeben, daß die Potentiate der oxydierten Metalle höher sind als die der nicht oxydierten Metalle. (Zur Oxydation kochte ich die Metalle in Perhydrol [30% Wasserstoffsuperoxyd], bis sie vollständig angelaufen waren.)

In den Fällen jedoch, in denen die durch Spannungsdifferenzen hervorgerufenen Beschwerden nicht abklingen, kann ich mir dies nur so erklären, daß die Spannungen zu stark sind und kein Angleich an diese Reize mehr stattfinden kann.

In den vielen übrigen Fällen, in denen überhaupt keine subjektiven Erscheinungen als Schmerzreaktionen auftreten, handelt es sich häufig um devitalisierte Zähne oder Zähne, bei denen die Füllungen zuwenig tief liegen, d. h. der Widerstand des Dentins zu groß ist und zu seiner Ueberwindung schon zuviel Strom verbraucht wird, um schmerzhafte Reaktionen auszulösen. Sodann ist aus den obenerwähnten Versuchen ersichtlich, daß gute Unterfüllungen als Isolatoren wirken. Bei dem übrigen Teil der Patienten, bei denen überhaupt keine schmerzhaften Reaktionen auftreten, liegt die Reizschwelle der Pulpa höher als bei den anderen Patienten. (Vielleicht infolge Degeneration.)

Liegen zwei Metalle mit verschiedenen Potentiaten dauernd in direkter Berührung, wie wir z. B. es oft sehen können, daß eine Amalgamfüllung eine Goldkrone berührt, so treten subjektive Beschwerden in Form von Schmerzen — wie die Erfahrungstatsachen lehren und die Reizversuche beweisen — nicht auf, da diese lediglich im Augenblick des Kurzschlusses entstehen, diese zwei Metalle in direkter Berührung jedoch dauernd kurzgeschlossen sind.

Will man aus diesen Versuchen in vitro et in vivo Folgerungen für die Praxis ziehen, was nun ja schließlich das Wichtigste ist, so sind es folgende:

1. Um schmerzhafte Erscheinungen, die durch Spannungsdifferenzen hervorgerufen werden, prinzipiell zu vermeiden, dürfen wir bei Zähnen mit lebender Pulpa nur Metallfüllungen verwenden, deren Potentialdifferenz unterhalb der Reizschwelle der Pulpa, also 0,4 Volt, liegt. Als Reizschwelle dürfen wir nach meinen Versuchen, wie schon gesagt, eine Spannung von 0,4 Volt annehmen.

Aus der Tabelle V ist ersichtlich, daß wir, um die Reizschwelle nicht zu überschreiten, bei lebenden Zähnen, die als Antagonisten in Kontakt kommen können, die angeführten Metallkombinationen nicht verwenden dürfen:

a) Gold : Silberamalgam
b) Gold : Würzburger Weißmetall
c) Gold : Gold-Platin-Amalgam
d) Wipla : Silberamalgam
e) Wipla : Würzburger Weißmetall
f) Degussa-Silberlegierung : Silberamalgam
g) Degussa-Silberlegierung : Gold-Platin-Amalgam
h) Degussa-Silberlegierung : Würzburger Weißmetall
i) Randolf : Würzburger Weißmetall
(liegt gerade an der Grenze).

2. Haben wir große Goldbrücken oder Füllungen aus Gold im Mund und können aus sozialen Rücksichten Gold nicht mehr verwenden, so schlagen wir nach unseren Untersuchungen nur die Degussa-Silberlegierung 835 vor, die zu Gold die geringste Potentialdifferenz hat. Diese Legierung eignet sich vorzüglich für Inlays und alle Stanzarbeiten.

Tabelle V.

Metallkombinationen, deren Potentialdifferenz über der Reizschwelle der Pulpa liegt:

Metalle	Potentialdifferenz in 0,25% MK
a) Gold : Silberamalgam	0,530 Volt
b) Gold : Würzburger Weißmetall	0,581 „
c) Gold : Gold-Platin-Amalgam	0,512 „
d) Wipla : Silberamalgam	0,461 „
e) Wipla : Würzburger Weißmetall	0,512 „
f) Degussa-Silberlegierung : Silberamalgam	0,482 „
g) Degussa-Silberlegierung : Gold-Platin-Amalgam	0,464 „
h) Degussa-Silberlegierung : Würzburger Weißmetall	0,533 „
i) Randolf : Würzburger Weißmetall (liegt gerade an der Grenze).	0,389 „

Tabelle VI.

Metallkombinationen, die wir nach unseren Untersuchungen zur Verwendung vorschlagen:

Metalle	Potentialdifferenz in 0,25% MK
Gold : Degussa-Silberlegierung	0,048 Volt
Randolf : Degussa-Silberlegierung	0,144 „
Wipla : Degussa-Silberlegierung	0,021 „
Silberamalgam : Würzburger Weißmetall	0,051 „
Goldamalgam : Würzburger Weißmetall	0,031 „

3. Will man bei Randolfkronen oder Brücken nicht wieder Randolf verwenden (Randolf ist ja für sich allein schon nicht mundbeständig und sollte überhaupt nicht verwandt werden), so kommt ebenfalls wieder nur die Degussa-Silberlegierung als Kombination mit Randolf in Frage, da Silber- und Gold-Platin-Amalgam sowie Würzburger Weißmetall wegen der großen Potentialdifferenz nicht verwendet werden dürfen, Wipla aber wegen der großen Verarbeitungsschwierigkeit nicht in Frage kommt.

4. Bei großen Ersatzstücken aus Wipla verwendet man am besten, um allen Unannehmlichkeiten aus dem Weg zu gehen, nur Kronen und Klammern aus Krupp-Stahl. Mit der Degussa-Silberlegierung würde theoretisch die beste Kombination erzielt sein, da beide fast dasselbe Potentiat haben, wie aus Tabelle I ersichtlich ist. Praktisch liegt die Sache aber so, daß diese Silberlegierung für Brücken und gegossene Platten nicht in Frage kommt, da dieses Metall für solche Zwecke noch etwas zu weich ist, wie die Deutsche Gold- und Silberscheideanstalt selbst dazu schreibt.

Wie ersichtlich handelt es sich hauptsächlich darum, ein Metall zu finden, das sich bei günstigem Preis (1 g Degussa-Silberlegierung 835 — 10 Pf.) ohne schädliche Folgen für den Patienten sowie die berührende Goldarbeit mit Gold kombinieren läßt und zugleich ein Mindestmaß an Korrosion zeigt.

5. Schließlich soll noch eine Möglichkeit nicht unerwähnt bleiben. Wir haben einen Patienten, dessen 6 — unbedingt überkront werden muß. Der 7 - sowie der 6 ┌ tragen große Amalgamfüllungen, die nun in Kontakt mit Gold kämen. Dies könnte bei dem Patienten unangenehme Erscheinungen hervorrufen und wahrscheinlich würde die Goldkrone stark verfärbt werden. Eine Entfernung der Amalgamfüllungen kommt aus sozialen Gründen nicht in Frage. Wir schlagen deshalb vor, die Krone aus Würzburger Weißmetall anzufertigen, das sich nach den letzten Untersuchungen von Gröschel für Kronen, Brücken und Gußfüllungen sehr gut eignet. Außerdem ist die Potentialdifferenz, wie aus Tabelle II zu ersehen ist, sehr gering. Der Preis des Metalles beträgt pro 1 g = 11 Pf.

Andere Metallkombinationen kommen nach meiner Ansicht für den Praktiker nicht in Frage. Zur klaren Uebersicht habe ich diese Metalle in Tabelle VI zusammengestellt.

Voraussetzung für die Verwendung aller dieser Metallkombinationen ist selbstverständlich beste Mundpflege.

Als letzte Möglichkeit, Potentialdifferenzen nach Möglichkeit zu vermeiden, bleibt uns noch die Verwendung von Zement übrig.

Muß man aus sozialen Rücksichten zwei verschiedene Metalle mit Spannungsdifferenzen verwenden, so kann man nach vorheriger Aufklärung der Patienten den Versuch machen. Zeigen sich Beschwerden, so kann man je nach der Stärke derselben einige Tage warten, ob sie nicht abklingen. Bleiben sie bestehen, so bleibt nichts anderes übrig als die eine der Elektroden zu entfernen und sie durch ein von oben vorgeschlagenes Potentiat oder auch, wenn möglich, durch Zement zu ersetzen.

Muß man Amalgam und Gold verwenden, so kann man das höhere Potential des frischen Amalgams bis zu seiner endgültigen Abbindung dadurch vermeiden, daß man die Amalgamfüllung einfach bis zur vollständigen Erhärtung mit einer Isolierschicht aus Zahnlack überzieht.

Auflösung des negativen Poles bei der Korrosion soll auch die Ursache der Allgemeinerscheinungen sein und ist zum Teil der Grund der so unangenehmen Verfärbungen. Um die Korrosion auf ein Mindestmaß einzuschränken, empfehlen wir ebenfalls nur die Metallkombinationen zu verwenden, die in Tabelle VI zusammengestellt sind.

Wie aus Literaturberichten ersichtlich ist, werden als Folge verschiedener Metalle im selben Mund Kopfschmerzen, allgemeine Schwäche, Hinfälligkeit, Zungenbrennen, Speichelfluß, Appetitlosigkeit und ähnliche Erscheinungen beschrieben. Nach Beseitigung des einen Metalls, das die Potentialdifferenz hervorrief, verschwanden auch die Erscheinungen.

Betrachtet man die verwandten Metalle nach ihrer toxikologischen Wirkung, so ist folgendes zu bemerken:

Kupfer wirkt in größeren Mengen als Brechmittel, wird dadurch also von selbst wieder beseitigt. Eine andere toxikologische Wirkung wird dem Kupfer nicht nachgewiesen.

Zinn ruft in großen Mengen gastrointestinale Erscheinungen hervor.

Von Eisen käme höchstens die adstringierende Wirkung in Frage.

Blei, das sich im Randolf findet, ruft bei chronischer Einwirkung als Anfangssymptome geringe Eßlust, Kopfschmerzen, verminderte Arbeitskraft sowie Anämie und Abmagerung hervor.

Durch Elektrolyse verschiedener Metalle, die wir im selben Mund verwenden, und schlechter heterogener Legierungen wie

Randolf gehen dauernd Metalle in Lösung, die zum Teil schon im Mund, zum Teil im Magendarmtraktus in ionaler Form aufgenommen werden. Man könnte nach den Literaturberichten annehmen, daß tatsächlich die chronische Resorption dieser Metallionen die Ursache dieser Allgemeinerscheinungen ist, zumal diese auch mit der Beseitigung der angenommenen Ursache verschwanden.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Hauenstein sowohl für die Ueberlassung des Themas als auch für die Uebernahme des Referates bestens zu danken.

Lebenslauf.

Ich Franz Jul. Köhl wurde am 24. Juli 1909 in Sablon bei Metz als Sohn des Regierungsbaumeisters Valentin Köhl und seiner Ehefrau Babette, geb. Ofenstein, geboren. 1912 bis 1915 lebte ich mit meinen Eltern in Stadthagen. 1915 wurde mein Vater nach München versetzt, wo ich im Herbst in die Volksschule eintrat. 1919 trat ich in das Alte Realgymnasium über. Im März 1928 legte ich dortselbst die Reifeprüfung ab. Im Mai 1928 immatrikulierte ich mich an der hiesigen Universität als Studierender der Zahnheilkunde. Im August 1929 legte ich die Zahnärztliche Vorprüfung ab. Nach weiteren vier Semestern an der hiesigen Universität bestand ich am 28. November 1931 das Zahnärztliche Staatsexamen. Seit 1. Dezember 1931 bin ich in der konservierenden Abteilung des Zahnärztlichen Instituts der Ludwig-Maximilians-Universität in München als Assistent tätig.

Literaturverzeichnis.

Beck: Der Zahnarzt. 1859 H. 8.
Chase: Elektrizität und Amalgamf. Wiss. Deutsch. J. Ref., Korr.-Bl. f. Z. 1873 S. 23.
Davis: Elektrolyse im Mund. Oest.-Ung. V. f. Z. 1905 Nr. 1.
Fenchel: Elektr. Ströme im Mund. Zahnärztl. Rundschau 1906 Nr. 43.
— Ergebnisse der ges. Zahnheilkunde. 1912 J. 3 H. 3.
Friebe und Weickart: Dtsch. Zahnheilk. H. 45.
Gröschel: Zahnärztl. Rundschau 1932 Nr. 40.
Hahn Gustav: Zur Amalgamfrage. Zahnärztl. Rundschau 1929 I. S. 462 bis 464.
Haber Gustav: Beitrag zur Quecksilberschädigung durch Edelamalgamfüllungen. Zahnärztl. Rundschau 1929 J. 37 Nr. 5 S. 173.
Hopfengärtner: Korrosionsströme im Mund. Inaug.-Diss. Tübingen 1930.
Hubmann H.: Zur Amalgamfrage. Zahnärztl. Rundschau 1929 II. S. 1673 bis 1674.
Jung J. G.: Zahnärztl. Rundschau Nr. 8 J. 41.
Lewin: Dtsch. Med. Wochenschrift 1900 S. 689.
Lippmann: Dtsch. Med. Wochenschrift J. 1930 H. 30.
— Dtsch. Med. Wochenschrift J. 1930 H. 33.
Müller: Korr.-Bl. f. Zahnärzte 1881 H. 3.
Nowack: Verfärbungen von Gold im Mund. Dtsch. Zahnärztl. Wochenschrift 1930 H. 24.
Nünlist: Schweizerische Monatsschrift f. Zahnheilk. 1931.
Puttkammer: Zahnärztl. Rundschau 1930 Nr. 19.
Saulson: Zahnärztl. Rundschau 1931 Nr. 7.
Schmid Gertr.: Dtsch. Zahnärztl. Wochenschrift 1930 H. 33.
Schmitt: Zahnärztl. Rundschau 1931 Nr. 3.
Sikora: Sind Edelamalgamfüllungen schädlich? Zahnärztl. Rundschau 1929 I S. 805 bis 807.
— Zahnärztl. Rundschau 1929 Nr. 19 S. 806.
— Zahnärztl. Rundschau 1929 S. 108.
— Zahnärztl. Rundschau 1930 Nr. 10.
— Elektrische Erscheinungen im Mund. Dtsch. Zahnärztl. Wochenschr. S. 1030.
Tholuck: München. Med. Wochenschrift 1925 H. 13.
— Entstehung und Wirkung elektr. Ströme im Mund. München. Med. Wochenschrift 1925 Nr. 13.
Treibich: Dtsch. Zahnärztl. Wochenschr. 1926 H. 12 S. 347.
Weickart: Dtsch. Zahnheilkunde 1921 H. 45.
Weyland: Dtsch. Monatsschr. f. Zahnheilk. 1916 H. 6.